

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ **Offenlegungsschrift**
①⑩ **DE 196 37 917 A 1**

⑤① Int. Cl.⁶:
G 05 B 13/04
B 21 B 37/00
// G 08 F 17/50

②① Aktenzeichen: 196 37 917.2
②② Anmeldetag: 17. 9. 96
②③ Offenlegungstag: 19. 3. 98

DE 196 37 917 A 1

B2

⑦① Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

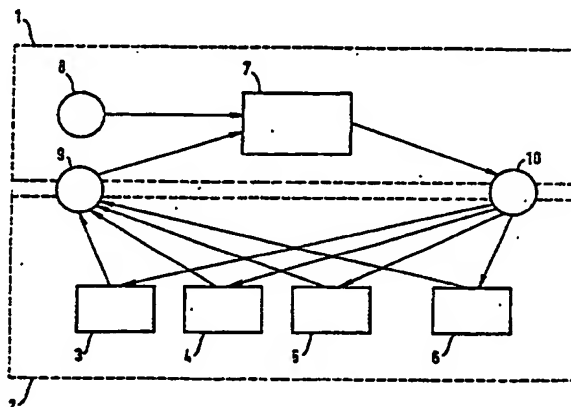
⑦② Erfinder:
Peuker, Thomas, Dr.-Ing., 91052 Erlangen, DE;
Schmid, Friedemann, Dr.rer.nat., 91056 Erlangen,
DE; Sörgel, Günter, Dipl.-Ing., 90455 Nürnberg, DE;
Gramckow, Otto, Dr.-Ing., 91052 Erlangen, DE

⑤⑤ Entgegenhaltungen:
DE 44 16 384 A1
DE 43 38 615 A1
DE 41 31 785 A1

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Einrichtung zum Entwurf oder zur Steuerung des Prozeßablaufs einer Anlage der Grundstoffindustrie

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Entwurf oder zur Steuerung des Prozeßablaufs einer Anlage der Grundstoffindustrie, insbesondere eines Stahl- bzw. Walzwerks, wobei Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf mittels eines mathematischen Optimierungsalgorithmus optimiert werden, der die Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf auf der Basis eines Prozeßmodells optimiert, wobei das Prozeßmodell auf zwei Modellebenen, eine übergeordnete Modellebene (1) und eine untere Modellebene (2), verteilt wird, wobei die untere Modellebene (2) Teilmodelle (3, 4, 5, 6) aufweist, die durch zumindest ein Modell (7) auf der übergeordneten Modellebene verknüpft werden.



DE 196 37 917 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung des Prozeßablaufs einer Anlage der Grundstoffindustrie, insbesondere eines Stahlwerkes, wobei die Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf mittels eines mathematischen Optimierungsalgorithmus optimiert werden, der die Einstellungen des Prozeßablaufs auf der Basis eines Prozeßmodells optimiert.

Es ist bekannt, zur Steuerung des Prozeßablaufs von Anlagen der Grundstoffindustrie Entscheidungsgrößen wie Einstellungen des Prozeßablaufs zu optimieren. Es ist weiterhin bekannt, eine derartige Optimierung mittels eines vereinfachten Modells des Prozeßablaufs durchzuführen. Sind nicht alle für eine Optimierung notwendigen Reaktionen des Prozeßablaufs auf Einstellungen des Prozeßablaufs bekannt, versagt diese Methode. Die Einstellungen des Prozeßablaufs müssen dann heuristisch getroffen werden. Dieses gilt z. B. für die Berechnung von Stichplänen in einem Walzwerk. Ermöglicht die Modellierung des Prozeßablaufs dessen Optimierung, so führt diese Optimierung aufgrund der notwendigen Vereinfachungen zu suboptimalen Lösungen für die Einstellungen des Prozeßablaufs. Müssen heuristische Methoden für die Einstellungen des Prozeßablaufs herangezogen werden, so liegen die ermittelten Einstellungen häufig weit entfernt von den optimalen Einstellungen.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren bzw. eine Einrichtung anzugeben, mittels dessen die obengenannten Nachteile, insbesondere unter vertretbarem ökonomischem Aufwand, vermieden werden können. Dabei ist es besonders wünschenswert, ein Verfahren bzw. eine Einrichtung anzugeben, die es ermöglicht, Einstellungen entsprechend optimaler Stichpläne für ein Walzwerk zu generieren.

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 bzw. eine Einrichtung gemäß Anspruch 19 gelöst. Auf diese Weise ist es möglich, einem Optimierungsalgorithmus ein besonders detailliertes Modell des Prozeßablaufs zur Verfügung zu stellen, so daß dieser optimale Einstellungen des Prozeßablaufs ermitteln kann. Dabei können auf der unteren Modellebene Modelle verwendet werden, die bestimmte Optimierungsalgorithmen, wie z. B. Gradientenverfahren, nicht zulassen. Derartige Modelle, sind z. B. Differentialgleichungssysteme, neuronale Netze, Finite-Elemente-Modelle, regelbasierte Modelle oder Fuzzy-Modelle. Insbesondere für Prozesse, wie z. B. Walzwerke, die sich mit vertretbarem wirtschaftlichem Aufwand nicht mit Gleichungssystemen beschreiben lassen, für die aber für bestimmte Teilkomponenten z. B. Modelle in Form neuronaler Netze vorliegen, können durch das erfindungsgemäße Verfahren mittels eines Optimierungsalgorithmus, wie z. B. dem Gradientenverfahren, optimiert werden. Auf diese Weise ist es möglich, die Entscheidungsgrößen von Prozeßabläufen mit einer hohen Komplexität wie etwa bei Anlagen der Grundstoffindustrie zu optimieren.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung werden bereits existierende bzw. bekannte Teilmodelle, die z. B. in der Prozeßsteuerung zum Einsatz kommen, verwendet. Dies ermöglicht eine besonders kostengünstige Modellierung des Prozeßablaufs.

Weitere Vorteile und erfinderische Einzelheiten ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen, anhand der Zeichnungen und in Verbindung mit den Unteransprüchen. Im einzelnen zei-

gen:

Fig. 1 eine Zweiebenen-Optimierung,

Fig. 2 einen Zielbaum.

Fig. 1 zeigt eine zweiebenen-Optimierung. Dabei wird der Prozeßablauf auf zwei Modellierungsebenen, einer übergeordneten Modellierungsebene 1 und einer unteren Modellierungsebene 2, modelliert. Auf der unteren Modellierungsebene 2 befinden sich Teilmodelle 3, 4, 5, 6, die Teile des zu optimierenden Prozesses modellieren. Auf der übergeordneten Modellierungsebene 1 befindet sich ein übergeordnetes Prozeßmodell 7, das Modellgleichungen und/oder Modellungleichungen aufweist und das zusammen mit den Teilmodellen 3, 4, 5, 6 der unteren Modellierungsebene ein Gesamtabbild des zu optimierenden Prozesses bildet. Diese erfindungsgemäße Zweiebenenstruktur für die Optimierung eines Prozeßablaufs hat sich besonders für komplexe Anlagen, bei denen bereits Teilmodelle, z. B. in Form von Differentialgleichungssystemen, neuronalen Netzen, Finite-Elemente-Modellen, regelbasierten Modellen, oder Fuzzy-Modellen, existieren, bewährt. Im Zuge der Verknüpfung der Modelle 3, 4, 5, 6, 7 der beiden Modellierungsebenen 1, 2 werden durch das übergeordnete Modell 7 variable Größen 10 erzeugt, die die Eingangsgrößen für die Teilmodelle 3, 4, 5, 6 bilden. Ausgangsgrößen der Teilmodelle 3, 4, 5, 6 wiederum sind Parameter 9, die als Eingangsgrößen in das übergeordnete Prozeßmodell 7 eingehen. Weitere Eingangsgrößen in das übergeordnete Prozeßmodell sind Vorgaben 8.

Aufgabe der Optimierung ist es, Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf, wie etwa Einstellungen des Prozeßablaufs, zu finden. Diese Entscheidungsgrößen bilden eine Teilmenge der variablen Größen 10. Im Rahmen der Optimierung werden zunächst durch das übergeordnete Prozeßmodell 7 variable Größen 10 ermittelt, aus denen die Teilmodelle 3, 4, 5, 6 Parameter 9 errechnen. Auf der Basis dieser Parameter 9 werden gemäß dem gewählten Optimierungsalgorithmus neue variable Größen 10 gebildet. Dieser Zyklus wird solange wiederholt, bis ein gewähltes Abbruchkriterium für die Optimierung erfüllt ist. Dabei laufen zwei Optimierungsvorgänge ab. Zunächst werden die Modellgleichungen und die Modellungleichungen des übergeordneten Prozeßmodells 7 mittels Zielfunktionen optimiert. Das Ergebnis dieser Optimierung sind auf der Basis von gegebenen Parametern 9 optimale variable Größen 10. Nach Abschluß dieser Optimierung werden aufgrund dieser optimalen variablen Größen 10 durch die Teilmodelle Parameter 9 errechnet. Auf der Basis dieser neuen Parameter 9 werden im Zuge der inneren Optimierung neue optimale variable Größen 10 ermittelt. Auf dieser Basis dieser neuen variablen Größen 10 werden in den Teilmodellen 3, 4, 5, 6 neue Parameter 9 errechnet. Im Zuge dieser äußeren Optimierung wird solange iteriert, bis sich die neuen Parameter 9 von den alten Parametern 9 um weniger als einen Toleranzwert oder die neuen variablen Größen 10 von den alten variablen Größen 10 um weniger als einen Toleranzwert unterscheiden.

Dieses Verfahren hat sich als besonders geeignet erwiesen, Stichpläne, d. h. Voreinstellungen für Walzstraßen, zu ermitteln. Dabei sind Methoden der nichtlinearen Optimierung besonders geeignet. Für die Stichplanberechnung werden vorzugsweise Optimierungskriterien in Form eines unterbestimmten Gleichungssystems formuliert, so daß sich bei der Optimierung ein Lösungsraum in Form einer Kompromißmenge ergibt. Die Formulierung des Optimierungskriteriums erfolgt dabei vorteilhafterweise in Form von Funktionen, die als Ziele

in einem wie in Fig. 2 gezeigten Zielbaumes formuliert sind. Dazu werden alle sinnvollen Ziele Z1, Z2, Z3, Za für eine bestimmte Anwendung verwendet. Diese Ziele können weiter verfeinert werden, so daß sich eine Baumstruktur wie in Fig. 2 ergibt. Dabei haben nicht alle Kriterien notwendigerweise die gleiche Verzweigungstiefe. Für die Stichplanberechnung können sich mit Bezugnahme auf Fig. 2 z. B. folgende Ziele ergeben: Z optimaler Stichplan, Z1 technische Aspekte, Z2 Flexibilität, Za ökonomische Aspekte, Z12 Steuerung, Z13 Technologie, Z121 Produktqualität, Z1211 Planheit, Z1212 Gefüge, Z122 kritische Zustände, Z1221 maximale Walzkraft, Z1222 maximale Motorleistung, Z1223 maximale Walzgeschwindigkeit, Za1 Kennzahlen, Za2 Gewinn, Za21 Erlös, Za22 Aufwendungen.

Durch die Verfeinerung im Zielbaum werden Ziele allgemeiner Art durch immer konkretere Ziele beschrieben, die in der letzten Verfeinerungsstufe als Blätter bezeichnet werden. Der so entstandene Zielbaum stellt eine hierarchische Struktur von Zielen dar, wobei Ziele innerhalb eines Astes komplementär und Ziele verschiedener Äste im allgemeinen konkurrierend sind. Der Zielbaum wird vorteilhafterweise möglichst allgemein gültig definiert, so daß bei konkreter Anwendung nur eine Teilstruktur des Zielbaumes Verwendung findet. Für eine konkrete Anwendung werden die einzelnen Optimierungskriterien mit Attributen versehen, welche die Art ihrer Verwendung festlegen. Dabei finden folgende Attribute Anwendung:

- "nicht aktiv"
- "Zielfunktion"
- "Nebenbedingung" oder
- "Bewertungskriterium".

Dabei heißt Attribut "nicht aktiv", daß in der konkreten Anwendung das Ziel als nicht relevant eingeschätzt und somit aus den weiteren Betrachtungen ausgeschlossen wird. Alle mit dem Attribut "Zielfunktion" versehenen Ziele sind Grundlage für die Optimierung, deren Ergebnis eine Kompromißmenge ist.

Diese Kompromißmenge wird unter Verwendung der mit dem Attribut "Nebenbedingung" versehenen Ziele zu einer reduzierten Kompromißmenge reduziert. Aus dieser reduzierten Kompromißmenge wird wiederum mittels der mit dem Attribut "Bewertungskriterium" versehenen Ziele eine Rangfolge für die Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf ermittelt. Dieses Vorgehen, bestehend aus Optimierung, Reduzierung der Kompromißmenge und Bewertung der reduzierten Kompromißmenge wird als Entscheidungsfindung bezeichnet.

Besonders geeignete Anwendungsfälle für das erfindungsgemäße Verfahren stellen die Berechnung von Voreinstellungen für die Einrichtung einer Walzstraße, Analysen und Erarbeitung von Walzstrategien, Planungsprozesse während des Walzbetriebes sowie die Unterstützung der Entscheidungsfindung beim Entwurf von Walzstraßen dar.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf oder zur Steuerung des Prozeßablaufs einer Anlage der Grundstoffindustrie, insbesondere eines Stahl- bzw. Walzwerks, wobei Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf mittels eines mathematischen Optimierungsalgorithmus optimiert werden, der die Entschei-

dungsgrößen über den Prozeßablauf auf der Basis eines Prozeßmodells optimiert, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell auf zwei Modellebenen, eine übergeordnete Modellebene (1) und eine untere Modellebene (2), verteilt wird, wobei die untere Modellebene (2) Teilmodelle (3, 4, 5, 6) aufweist, die durch zumindest ein Modell (7) auf der übergeordneten Modellebene (1) verknüpft werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auf der übergeordneten Modellebene variable Größen (10), von denen die Entscheidungsgrößen eine Teilmenge sind, ermittelt werden, wobei auf der Basis der variablen Größen (10) auf der unteren Modellebene Parameter (9) ermittelt werden, auf deren Basis wiederum die variablen Größen (10) ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Modell (7) auf der übergeordneten Modellebene (1) ein analytisches Modell ist, daß durch Modellgleichungen und Modellungleichungen beschrieben ist.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 oder 3 dadurch gekennzeichnet, daß die Teilmodelle (3, 4, 5, 6) Differentialgleichungssysteme, neuronale Netze, Finite-Elemente-Modelle, Fuzzy-Modelle oder regelbasierte Modelle sind, wobei die Teilmodelle (3, 4, 5, 6) vorteilhafterweise bekannte bzw. bereits existierende Modelle sind, die in der Prozeßsteuerung zum Einsatz kommen.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4 dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierung in Form einer experimentellen Optimierung, z. B. in verschiedenen Varianten des Simplexverfahrens oder genetischer Algorithmen, erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 1, 2, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Optimierung gemäß oder einem nichtlinearen Optimierungsverfahren, wie z. B. einem Gradientenverfahren erfolgt.

7. Verfahren nach Anspruch 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß in zwei verschachtelten Optimierungsvorgängen, einer inneren Optimierung und einer äußeren Optimierung, optimiert wird, wobei im Zuge der inneren Optimierung über die Modellgleichungen, die Modellungleichungen sowie über Zielfunktionen optimiert wird und wobei das Ergebnis dieser Optimierung eine Kompromißmenge ist.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß zur äußeren Optimierung die Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf so lange über beide Ebenen, d. h. über die übergeordnete Modellebene (1) und die untere Modellebene (2), iteriert werden, bis sich die auf der unteren Modellebene (2) ermittelten Parameter (9) aus dem jeweils vorhergehenden Iterationsschritt von den im aktuellen Iterationsschritt ermittelten Parametern (9) um weniger als vorgegebene Toleranzwerte unterscheiden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei einigen Iterationsschritten der äußeren Optimierung, insbesondere bei den ersten Iterationsschritten, die Teilmodelle (3, 4, 5, 6) der unteren Modellebene linearisiert werden und in den entsprechenden Iterationsschritten die linearisierten Teilmodelle anstelle der ursprünglichen Teilmodelle (3, 4, 5, 6) verwendet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß als linearisierte Teilmodelle, sogenannte Wirksamkeiten (w_{ij}) mit $w_{ij} = \Delta y_i / \Delta x_j$ benutzt werden, wobei x_j die j-te Eingangsgröße und y_i die i-te Ausgangsgröße des linearisierten Teilmodells ist. 5
11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Ziele für eine Entscheidungsfindung, von der die Optimierung ein Teil ist, in hierarchischer Weise, d. h. als Zielbaum, formuliert werden, wobei Ziele innerhalb eines Astes komplementär und Ziele verschiedener Äste, vorzugsweise konkurrierend sind, und wobei die Ziele mit wachsender Verzweigung konkreter werden. 10
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Ziel als Zielfunktion, als Nebenbedingung, als Bewertungskriterium oder gar nicht bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt wird. 15
13. Verfahren nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß zur Entscheidungsfindung aus der Kompromißmenge mittels der Nebenbedingungen eine reduzierte Kompromißmenge und aus der reduzierten Kompromißmenge mittels der Bewertungskriterien, insbesondere punktweise, eine Rangfolge ermittelt wird. 20
14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mit ihm optimale Stichpläne für eine Walzstraße mit den entsprechenden Einstellungen der Walzstraße bestimmt werden. 25
15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß mit ihm optimale Stichpläne bzw. Walzstrategien mit den entsprechenden Einstellungen der Walzstraße für bestehende Walzstraßen bestimmt werden. 30
16. Verfahren nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß die optimalen Stichpläne als Grundlage für eine Organisation des Walzbetriebes (u. a. des Brammenlagers) im Rahmen einer Level-3-Automatisierung genutzt werden. 35
17. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Modelle (7) der übergeordneten Modellebene (1) auf einem anderen Rechner implementiert sind als die Teilmodelle (3, 4, 5, 6) auf der unteren Modellebene (2). 40
18. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Teilmodelle (3, 4, 5, 6) auf der unteren Modellebene (2) zum Teil auf verschiedenen Rechnern implementiert sind. 45
19. Einrichtung zur Steuerung des Prozeßablaufs einer Anlage der Grundstoffindustrie, insbesondere eines Stahlwerks, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf mittels eines mathematischen Optimierungsalgorithmus optimiert werden, der die Entscheidungsgrößen über den Prozeßablauf auf der Basis eines Prozeßmodells optimiert, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell auf zwei Modellebenen, eine übergeordnete Modellebene (1) und eine untere Modellebene (2), verteilt wird, wobei die untere Modellebene (2) Teilmodelle (3, 4, 5, 6) aufweist, die durch zumindest ein Modell (7) auf der übergeordneten Modellebene (1) verknüpft werden. 50
55
60
65

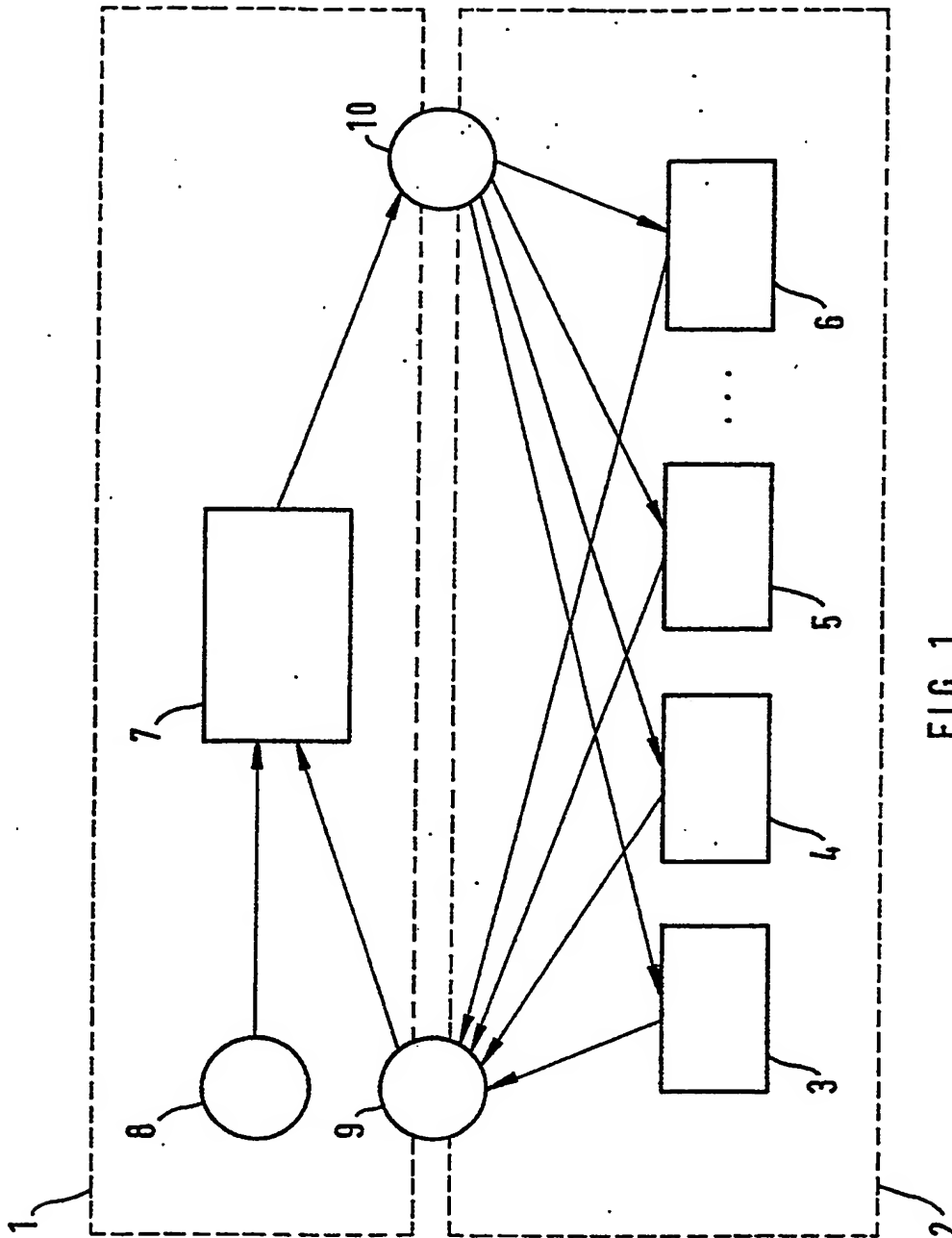


FIG 1

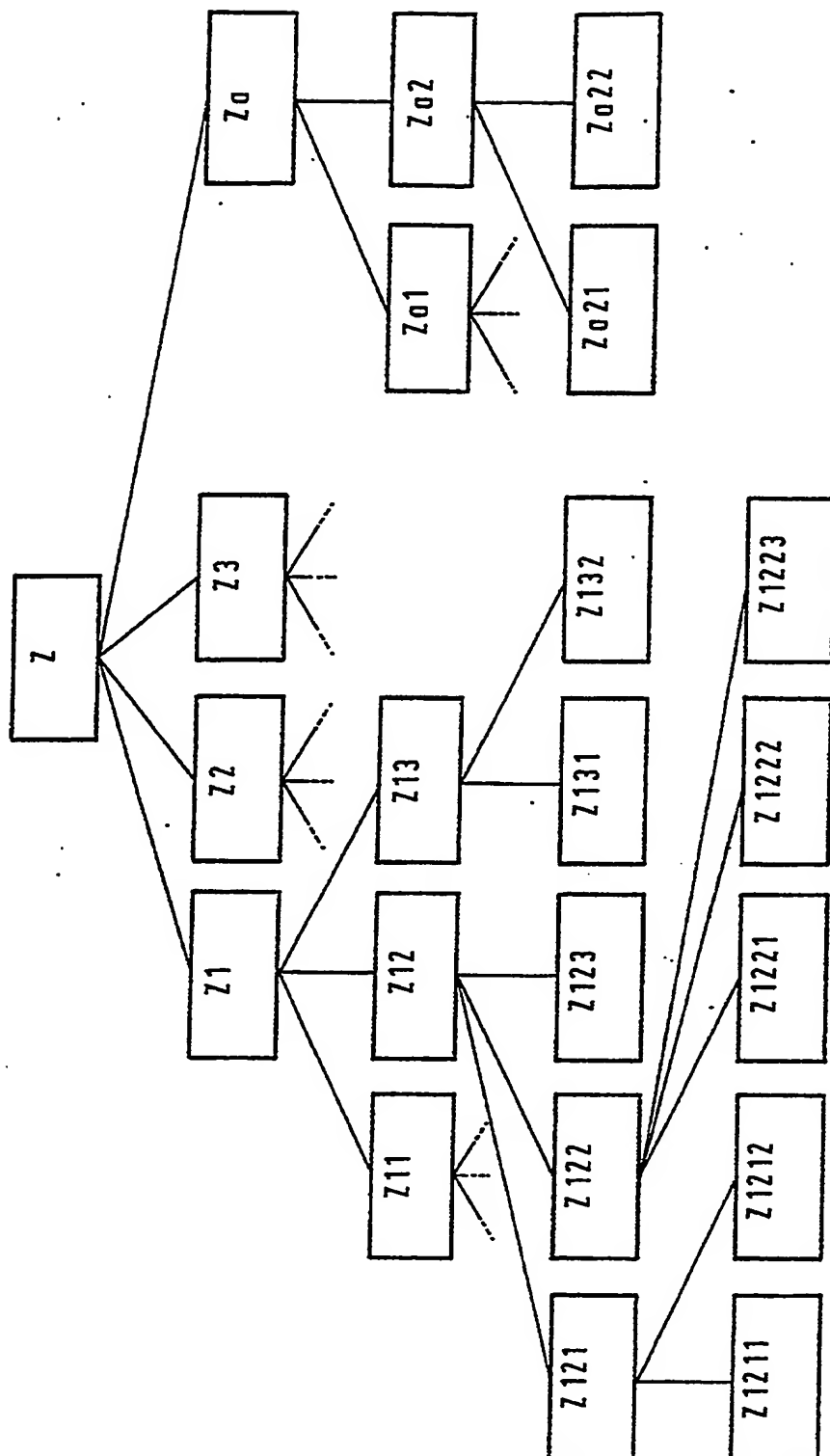


FIG 2